



## Production d'ions alcalins radioactifs

C. Eléon

### ► To cite this version:

C. Eléon. Production d'ions alcalins radioactifs. Journées de Rencontre des Jeunes Chercheurs, Dec 2005, Aussois, France. pp.109-111. in2p3-00188328

**HAL Id: in2p3-00188328**

**<https://hal.in2p3.fr/in2p3-00188328>**

Submitted on 16 Nov 2007

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Production d'ions alcalins radioactifs

**Cyrille ELEON**  
GANIL, BP 55027 14076  
CAEN cedex 05 FRANCE



### 22.1 Introduction

Dans le domaine de la physique nucléaire, l'intérêt pour les noyaux qui sont loin de la vallée de la stabilité stimule la recherche et le développement de faisceaux d'ions radioactifs. Notre étude porte plus particulièrement sur la production de faisceau d'ions  $^{21}\text{Na}$ , car il permet d'étudier le passage de cycle C, N, O vers des cycles plus rapides dans les étoiles et de faisceau d'ions  $^{11}\text{Li}$  car sa structure est encore mal comprise. La variété physico-chimique des faisceaux demandés se traduit techniquement par la nécessité de développer un grand nombre de dispositifs de production. Dans le cadre de mon travail, les faisceaux visés sont des faisceaux d'ions alcalins radioactifs. Quelques-uns de ces faisceaux,  $^{8,9}\text{Li}$  et  $^{24-26}\text{Na}$  ont été préalablement produits sous forme d'ions mono-chargés mais pour répondre aux besoins simultanés de forte statistique et de collision à haute énergie des expériences, il est nécessaire d'augmenter les intensités des faisceaux disponibles et leur état de charge. Pour cela, notre travail consiste donc à appréhender la problématique des systèmes de production existants, à la remettre en cause pour pouvoir, à terme, concevoir de nouveaux systèmes de production. Quel que soit le dispositif, le temps de production est en compétition avec le temps de durée de vie du noyau. Ceci est d'autant plus vrai dans le cas du  $^{11}\text{Li}$  dont la durée de vie est de seulement 8.5ms. La production du  $^{21}\text{Na}$  est moins problématique car sa durée de vie est de 22 s.

### 22.2 Principe de production

La méthode ISOL (Isotope Separation On Line) est la méthode qui sera utilisée à GANIL pour produire des faisceaux d'ions alcalins radioactifs.

#### 22.2.1 Méthode ISOL

1. La première étape consiste à produire les isotopes radioactifs d'intérêt. Au cours de la collision entre les noyaux stables d'un faisceau primaire et les noyaux de la cible de production, des fragments de noyaux sont des noyaux radioactifs. Le nombre de noyaux radioactifs produits est proportionnel à

la section efficace de production, au flux de particules incidentes et au parcours des noyaux incidents dans la cible. Dans la méthode ISOL, la cible est suffisamment épaisse pour que les noyaux produits soient arrêtés dans la cible

2. La deuxième étape consiste à sortir les noyaux radioactifs de la cible, généralement par diffusion. Ils sortent généralement sous forme d'atomes neutres, et possèdent donc les caractéristiques chimiques de l'isotope stable.
3. La troisième étape est l'ionisation des atomes. Les sources d'ions sont choisies en fonction de leurs caractéristiques physiques et chimiques.
4. La quatrième étape consiste à faire de ces ions un faisceau à sélectionner les ions en fonction du rapport entre la charge et la masse à l'aide d'un spectromètre de masse.
5. Une fois triés et si l'expérience qui utilise ces ions le requiert, ces ions peuvent être accélérés à l'aide des cyclotrons présents au GANIL.

#### 22.2.2 Production d'ions alcalins multi-chargés

Une particularité des ions alcalins est leur potentiel d'ionisation relativement faible comparé au potentiel des autres éléments chimiques. Le type de source qui présente la meilleure efficacité pour l'ionisation simple de ce type d'élément fonctionne sur le principe de l'ionisation de surface.

Ce principe d'ionisation réside dans la probabilité d'échanger un électron d'un atome qui entre en contact avec une paroi placée à une certaine température. Cette probabilité dépend du potentiel d'ionisation de l'atome (noté  $I$ ), du travail de sortie (noté  $W_s$ ) de la paroi et de la température. Elle dépend aussi du rapport des degrés de dégénérescence de l'atome neutre ( $g_0$ ) et de l'ion  $1+$  ( $g_+$ ).

La figure 22.1 montre l'évolution de la probabilité d'ionisation à chaque contact pour différents types de matériaux (oxyde de tungstène, iridium, platine, carbone et tungstène) en fonction du potentiel d'ionisation et pour une température de la paroi de 2000K.

On observe par exemple que la probabilité qu'a un

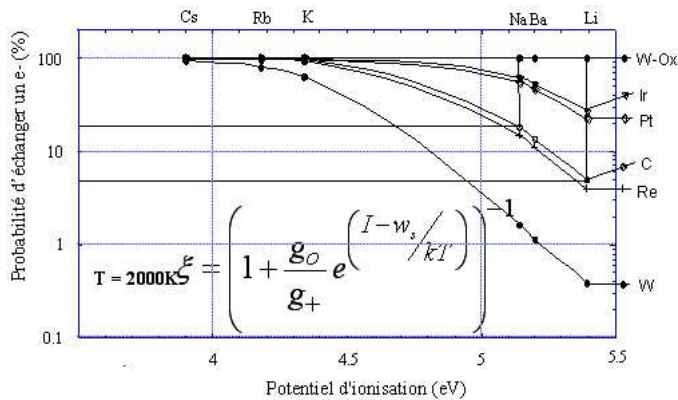


FIG. 22.1 – Probabilité d'échanger un électron avec une paroi à chaque contact pour une température de 2000K en fonction du potentiel d'ionisation.

atome de sodium d'échanger un électron sur une paroi en carbone est de 15% mais elle est seulement de 5% pour un atome de lithium. Puisque l'efficacité d'ionisation dépend de la probabilité d'échanger un électron avec une paroi mais aussi de la durée de vie des noyaux et donc du temps de collage sur la paroi, il est aussi important de choisir un matériau en fonction de son travail de sortie et en fonction du temps de collage de l'atome d'intérêt sur la paroi.

L'ionisation de surface permet d'obtenir des ions alcalins uniquement mono-chargés. Pour augmenter l'énergie d'un faisceau jusqu'à des énergies élevées, il faut augmenter leur état de charge en la couplant avec une source d'ions multichargés. Pour augmenter leur état de charge, deux types de méthodes [1] sont actuellement utilisées dans différents laboratoires :

1. L'injection dans une source EBIS (Electron Beam Ion Source utilisée à ISOLDE, CERN, Suisse par exemple))
2. L'injection dans une source ECRIS (Electron Cyclotron Resonance Ion Source, utilisée à ISAC, TRIUMF, Canada par exemple)

Les avantages de la méthode EBIS sont : le court temps d'ionisation, les états de charge élevés et le faible taux d'impuretés. La complexité de ce système et la durée de vie de la cathode sont les points faibles de cette méthode. Les avantages de la méthode ECRIS sont : la possibilité d'injecter un faisceau 1+ de plus forte intensité et la facilité de réglages du système. Le problème de cette méthode est le taux relativement élevé d'impuretés.

Le système présenté par la suite est un ensemble cible-source étudié pour la production de sodium et de potassium radioactifs. Il repose sur le couplage entre une source à ionisation de surface et une source ECRIS. La source à ionisation de surface 1+ est actuellement en

cours de modifications pour optimiser l'efficacité totale pour la production de  $^{21}\text{Na}$  et  $^{11}\text{Li}$ . Ce dernier élément est particulièrement difficile à produire car sa durée de vie est de seulement de 8.5 ms et son potentiel de première ionisation le plus élevé des alcalins. Une des difficultés rencontrées pour tous les éléments que l'on veut produire avec cette méthode est de limiter la perte durant le transport, d'une part entre la cible et la source d'ionisation 1+ et d'autre part entre la source 1+ et la source d'ions multichargés.

## 22.3 Proposition technique

Cet ensemble est constitué d'une source à ionisation de surface et d'une source d'ions ECR [2]. Le système de production d'ions mono-chargés est constitué d'une cible de production en carbone graphite, un four, une cavité, d'un réflecteur et d'un ioniseur, le tout en Carbone. La source d'ions multichargés ECR est la source NANOGAN III [3] utilisée sur SPIRAL I (Système de Production d'Ions Radioactifs Accélérés en Ligne, GANIL, CAEN, France) pour la production de gaz radioactifs. La ligne de transport entre la sortie de la source à ionisation de surface et l'entrée de la source ECR est constituée d'une électrode d'extraction, d'une lentille électrostatique (Einzel), d'un coude destiné à l'injection de la radio fréquence et d'un tube de décélération. On injecte directement le faisceau 1+ dans la source ECR sans séparation de masse.

Dans le cas de la production d'isotopes de Na et K, le faisceau primaire est arrêté dans la cible de production composée de lamelles de 0,5mm d'épaisseur et espacées de 0,8mm. Sa forme est conique pour homogénéiser le dépôt de puissance du faisceau primaire. Le chauffage ohmique est réalisé à l'aide d'un four en carbone. Le réflecteur en carbone permet de limiter la puissance de chauffage nécessaire. La température de la cible est de 2000K afin de favoriser la vitesse de diffusion des éléments produits. La cavité en carbone sert à limiter le volume d'effusion des atomes. A la sortie de la source à ionisation de surface, les ions sont accélérés. Ils sont focalisés pour traverser le trou d'un diamètre de 2mm du coude RF et pénétrer dans la source N+. Le faisceau d'ions est par la suite décéléré pour être capturé par le plasma de la source ECR.

Une source ECR fonctionne en injectant une onde électromagnétique à la fréquence cyclotronique des électrons. Le champ magnétique est conçu de façon à ce que les électrons soient confinés dans une bouteille magnétique. L'interaction de l'onde avec les électrons permet d'augmenter leur énergie cinétique. Les atomes présents dans la source sont ionisés par collision avec les électrons jusqu'à atteindre des états de charge élevés.

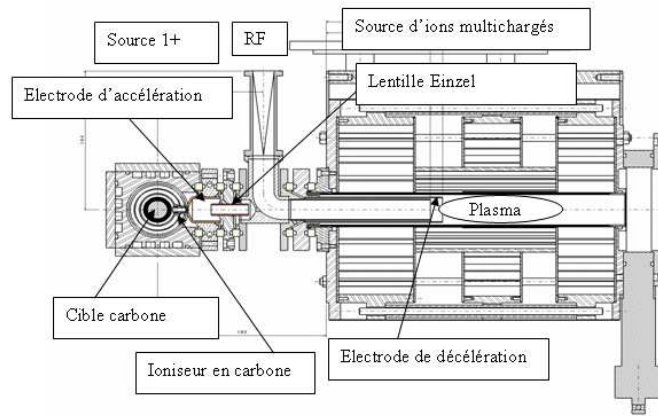


FIG. 22.2 – Source d'ions sodium et potassium multi-chargés : association d'une source à ionisation de surface et d'une source ECR (Electron Cyclotron Resonance)

## 22.4 Conclusion et perspectives

Le premier test hors ligne (sans faisceau primaire) effectué avec le système dont nous disposons a permis de se rendre compte de plusieurs problèmes :

1. Il n'existait pas de gradient de potentiel entre les extrémités du tube ioniseur. Un champ électrique aurait permis d'accélérer la sortie des ions une fois ceux-ci ionisés et ainsi éviter pour une part d'entre eux qu'ils se re-neutralisent sur la paroi du ioniseur.
2. La température de sortie du tube ioniseur était de 1400K, donc très inférieure à la température optimale recherchée de 2000K. La probabilité d'ionisation au contact de la paroi en carbone était donc inférieure à la valeur recherchée. Il est donc primordial que l'ensemble du ioniseur soit porté à la température désirée.
3. L'ioniseur est en carbone. Si ce matériau présente un travail de sortie intéressant pour la plupart des alcalins, d'autres matériaux sont envisageables pour augmenter l'ionisation des alcalins à fort potentiel d'ionisation tel que le lithium. Cette possibilité est à l'étude. Pour chaque matériau ioniseur envisagé, il est nécessaire de s'assurer qu'en cours de fonctionnement, ce matériau garde ses propriétés malgré son éventuelle pollution surfacique par des impuretés ou à cause de variations de ses caractéristiques à haute température.
4. Le refroidissement au niveau du corps de la source à ionisation de surface était insuffisant et entraînait une dégradation accélérée des joints d'étanchéité de la chambre. Une modification mécanique du circuit de refroidissement est en cours.

### Couplage des sources 1+ et N+ :

Pour augmenter l'efficacité de transport entre les deux sources et pour augmenter l'efficacité de capture des ions 1+ par le plasma [4] de la source ECR, il est nécessaire de régler les différents paramètres de la ligne de transport, qui sont les valeurs du potentiel d'extraction, du potentiel de l'électrode de focalisation et du potentiel de l'électrode de décélération. A la difficulté de réglage s'ajoute la méconnaissance actuelle de l'émission de sortie de la source à ionisation de surface, qui reste à mesurer. Pour maîtriser la capture du faisceau d'ions mono-chargés par le plasma de la source ECR, il est important d'étudier l'interaction du faisceau 1+ avec le plasma de la source ECR, l'influence que peut avoir le champ magnétique de la source sur le faisceau entrant, mais aussi l'influence du champ électrique issu des électrodes de la ligne de transport ou du potentiel plasma.

Dans le cadre de la production du  $^{11}\text{Li}$  :

L'ensemble cible source, présenté dans ce document, doit être optimisé car le  $^{11}\text{Li}$  étant l'alcalin le plus difficile à ioniser et sa durée de vie étant très courte (8,5ms), tous les points cités ci-dessus sont d'autant plus importants.

De plus, le parcours d'arrêt du  $^{11}\text{Li}$  dans le carbone est d'une part relativement important (35mm), d'autre part très différent de celui du faisceau primaire (7mm), impliquant un fort gradient de température dans la cible si cette dernière est en une seule partie, le dépôt de puissance ayant principalement lieu dans les sept premiers millimètres de la cible. Le système sera donc constitué de deux cibles, une première cible destinée à arrêter le faisceau primaire et à produire les fragments radioactifs et une seconde cible, dite « cible d'arrêt », dans laquelle les fragments s'arrêteront. Le dimensionnement de la cible de production dépend du faisceau primaire utilisé, de son intensité et de son énergie.

Concernant la cible d'arrêt, un matériau utilisé pour sa fabrication tel que (Ir, Pt, Ta) limiterait le parcours d'arrêt et, dans le cas de l'Ir et Pt, participerait à l'ionisation du  $^{11}\text{Li}$  afin d'augmenter l'efficacité totale du système. Une étude est toute fois nécessaire pour évaluer les taux de production des éléments dus aux réactions dues aux neutrons (secondaires) issues de la cible de production avec le stoppeur et si on n'engendre pas de nouveaux risques du point de vue production nucléaire par rapport au système en fonctionnement actuelle de Spiral 1 qui comporte une fenêtre mince de Ta et une cible-stoppeur tout C.

## Remerciements

Je remercie l'ensemble du groupe production d'ions, Mme Saint Laurent et O.Tuske pour leur participation

et leur aide pour la réalisation de ce projet.

## Références

- [1] Commission-RTD Project, final report 2004, Charge Breeding. [http ://www.ha.physik.uni-muenchen.de/okester/eunet/](http://www.ha.physik.uni-muenchen.de/okester/eunet/).
- [2] C.ELEON, ICIS 2005, Direct 1+ to n+ method for production radioactive alkaline ions.
- [3] G. Gaubert et al.,ICIS 2005.
- [4] Thèse Nicolas Chauvin. Thèse de doctorat (10 juillet 2000), Institut des Sciences Nucléaires de Grenoble - IN2P3, UNIVERSITE JOSEPH-FOURIER - GRENOBLE I.